
*Conselleria de Agricultura, Medio
Ambiente, Cambio Climático y
Desarrollo Rural*



Universidad Miguel Hernández de Elche



Convenio entre la GVA y la UMH

**Proyecto de Investigación Aplicada a Recursos Hídricos de la
Comunidad Valenciana**

**“Análisis y seguimiento de la calidad de las aguas de las redes
de drenaje agrícola del sur de la Comunidad Valenciana:
nutrientes y caudales”**

2018

Equipo de investigación

Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente

Coordinador:

Jose Navarro Pedreño

Equipo de la UMH:

Manuel Miguel Jordán Vidal

Ignacio Gómez Lucas

María Belén Almendro Candel

Ignacio Meléndez Pastor

Ernesto García Sánchez

Personal Investigador contratado:

Gema Marco Dos Santos

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.	7
2. LÍNEAS DE ACTUACIÓN.	11
2.1. pH, salinidad y oxígeno disuelto.	11
2.2. Nutrientes de origen agrícola (N y P).	18
2.3. Estimación de los caudales y carga contaminante (N y P).	21
3. CONCLUSIONES.	26
4. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.	28

1. INTRODUCCIÓN.

La presente investigación se corresponde con el año 2018, continuando con la línea de trabajo sobre los recursos hídricos del sur de la Comunidad Valenciana iniciada en el año 2016, promovida por la Generalitat Valenciana y correspondiente al convenio de referencia 83/18 establecido con la Universidad Miguel Hernández de Elche.

El presente trabajo de investigación obedece a la necesidad de valorar la calidad de los efluentes que vierten sus aguas en las zonas costeras del sur de la Comunidad Valenciana, áreas de gran valor ambiental, económico y social. Se centra especialmente en las áreas litorales y zonas agrícolas de Santa Pola, Elche y Guardamar del Segura.

A estas zonas, se encaminan los efluentes vertidos a través de la red de drenaje que ocupa las zonas agrícolas situadas en las comarcas valencianas de la Vega Baja del Segura y el Baix Vinalopó fundamentalmente, siendo estas aguas las correspondientes mayoritariamente a sobrantes de riego y aguas residuales depuradas, que son los que aprovechan los drenajes y canalizaciones para su evacuación.

Además de la actividad agrícola, las actividades asociadas a la ocupación urbana, desarrollo industrial y otras que producen el sellado de los suelos, pueden afectar a la calidad de las aguas, modificando las escorrentías y su calidad.

Precisamente el sellado de los suelos es una de las fuentes más importantes de escorrentías en medios urbanos y áreas industriales a las que se les debe prestar atención. No obstante, por el uso y necesidad de aguas para el riego, la actividad agraria sigue siendo la que aporta el mayor volumen de aguas de drenaje a los azarbes, asociando a estas, fuentes de contaminación como pueden ser nutrientes (nitrógeno o fósforo) y sales procedentes del lavado de los suelos.

El trabajo preliminar realizado en 2016 se plasmó en el documento entregado a la CONSELLERIA DE AGRICULTURA, MEDIO AMBIENTE, CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO RURAL en noviembre de 2016. El presente documento, continúa con esta línea de investigación aportando nuevos datos y un mayor conocimiento de la situación ambiental real, ahondando en las complicadas relaciones causa-efecto, siempre difíciles de ser establecidas en un contexto como el que encuadra esta investigación dentro de la contaminación difusa del medio.

Conviene reseñar que los resultados de esta investigación ya han sido el soporte para la presentación de dos Trabajos Fin de Grado de Ciencias Ambientales, dos Trabajos Fin de Máster de las Universidades de Murcia y de Alicante, un trabajo presentado a congresos y otro en preparación, y tres artículos científicos (uno de ellos ya en prensa) desarrollados por los componentes del equipo de investigación.

La investigación se centra en los sistemas de drenaje, en los que el agua es el vehículo conductor de todas las sustancias y por ello, también el receptor de la contaminación difusa. La existencia de una densa red de drenaje favorece la canalización de las diversas sustancias que se originan en el entorno hacia los azarbes. Estos a su vez, sirven de medio por el que discurre esta contaminación hacia las aguas costeras, concretamente hacia dos puntos: Santa Pola y Guardamar del Segura. Estas aguas acaban mezclándose con las aguas costeras, modificando el entorno inmediato.

Como indica la Agencia Europea de Medio Ambiente (2017), la contaminación difusa puede ser causada por una variedad de actividades que no tienen un punto de descarga de contaminantes específico. La agricultura es fuente de contaminación difusa, pero las zonas urbanas, la

silvicultura, la deposición atmosférica y las viviendas rurales también pueden ser fuentes importantes.

En el caso de los azarbes del sur de la Comunidad Valenciana, estos actúan concentrando los distintos focos de origen y encaminándolos hacia un punto de vertido, de manera que se pasa contaminación difusa en áreas, a líneas con presencia de contaminantes y posteriormente a una zona de descarga de contaminación puntual en la zona costera. Así este sistema funciona como un sistema de desagüe y evacuación de sustancias que pueden ser arrastradas por el agua.

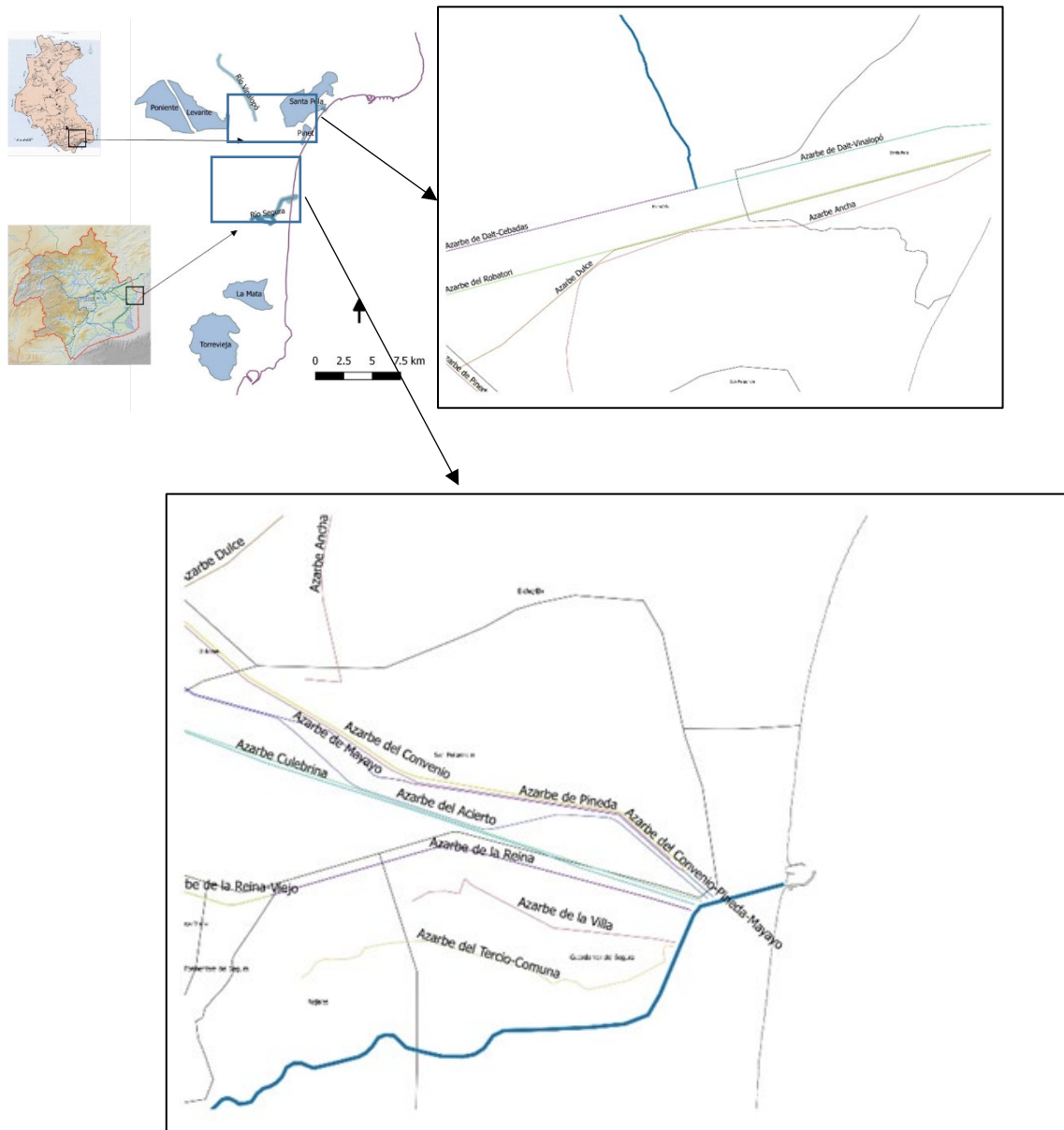


Figura 1. Zona de estudio, indicando los cauces estudiados.

La situación del área de estudio en la que se enmarca la investigación (figura 1) muestra la importancia que los azarbes tienen, actuando como colectores de sustancias que se agrupan y determinan el vertido y la calidad aguas en puntos concretos de la costa del sur de la Comunidad Valenciana, en el área delimitada al norte por el Cabo de l'Aljub (Santa Pola) y al sur por el Cabo Cervera (Torrevieja).

Los azarbes, los cauces estudiados, están agrupados en dos grandes conjuntos determinados por el destino de sus efluentes: los azarbes asociados al Vinalopó por un lado, y aquellos que aportan sus aguas en la desembocadura del río Segura.

Con relación a los primeros, que vierten conjuntamente sus aguas con el río Vinalopó en su desagüe al mar, los considerados en este estudio son los siguientes:

- Dalt o Cebadas
- Robatori
- Dulce
- Ancha o Ampla

Los azarbes considerados asociados al río Segura y que acompañan a este en la desembocadura artificial creada en la población de Guardamar del Segura son los siguientes:

- Convenio
- Pineda
- Mayayo
- Acierto
- Enmedio
- Culebrina
- La Reina
- De la Villa
- De la Comuna

Entendiendo el funcionamiento de este sistema, el objetivo es el de tratar valorar la contaminación y la posible descarga de contaminantes que se produce en las zonas costeras del sur de la provincia de Alicante.



Figura 2. Desplazamiento de los drenajes hacia los puntos de descarga.

Tal y como recoge el convenio establecido para este año 2018, se centra en valorar los siguientes aspectos:

- **pH, salinidad de las aguas (conductividad eléctrica a 25°C y cloruros) y oxigenación (oxígeno disuelto).**
- **Nutrientes de origen agrícola (N y P).**
- **Estimación de caudales de la red de drenaje para el cálculo de la carga contaminante de nitratos y fosfatos.**

Sin embargo, dado que se tiene un bagaje de tres años estudiando esta red, se aportarán los datos obtenidos que permiten caracterizarla, enriqueciendo el conocimiento que se tiene sobre las características de estos azarbes.

Poder determinar la calidad y la previsible cantidad de las aguas, en una situación como la que existe en el Sureste de Alicante, de escasez de aguas y de mala calidad, puede facilitar la mejor gestión de recursos y la búsqueda de soluciones que permitan el uso más adecuado de estos. En definitiva, se pueden llegar a proponer estrategias que hagan más aptas las aguas para determinados fines, tales como los usos agrícolas y ambientales.

2. LÍNEAS DE ACTUACIÓN.

La investigación durante este año, el 2018, se centró en las siguientes líneas de actuación que se indican a continuación. Conviene reseñar no obstante que, además de los datos correspondientes a este ejercicio, se consideran los correspondientes a 2016 y 2017, abarcando dos años hidrológicos completos. Así, la valoración que se realiza en cada apartado corresponde a una población sólida de datos que favorece la adecuada interpretación de los resultados y reduce el sesgo anual. Los datos se presentan en forma de gráficas que señalan los valores medios y los extremos, representan los valores máximos y mínimos determinados en los muestreos.

2.1. pH, salinidad y oxígeno disuelto.

El primer grupo de resultados se enmarca en el conocimiento de la **calidad de las aguas** de los azarbes que afectan a las desembocaduras de los ríos Vinalopó (Santa Pola) y Segura (Guardamar del Segura).

Los resultados obtenidos para el **pH**, una vez considerados los del año 2018, son los mostrados en la figura 3. En general, se puede apreciar que no existen diferencias relevantes en las aguas analizadas para los distintos cursos de aguas, con valores de pH medios situados entre 7,8 y 8,0.

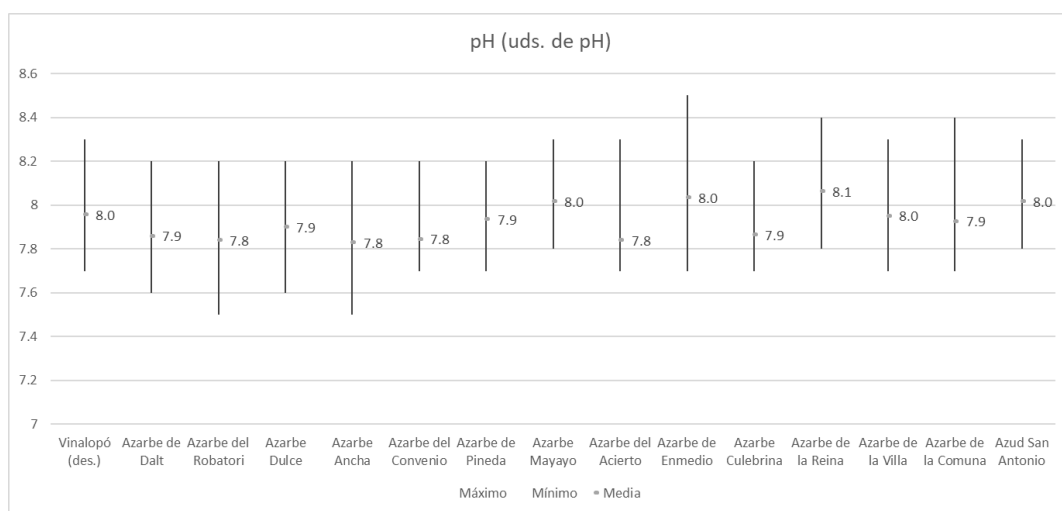


Figura 3. Valores de pH.

La salinidad, determinada a través de los valores de **conductividad eléctrica** ajustados a la temperatura de referencia de 25 °C, corroboran que el conjunto de cauces asociado a la desembocadura en la zona de Santa Pola, en general, tienen aguas con mayor contenido salino que los que vierten al río Segura. La excepción corresponde al azarbe Dulce, que es el que muestra los valores medios de conductividad eléctrica más bajos de todos. No obstante, como se verá posteriormente, en el punto de muestreo es en el que es menor el valor del caudal medido, por lo que los aportes de aguas con menor salinidad derivados de este azarbe son escasos.

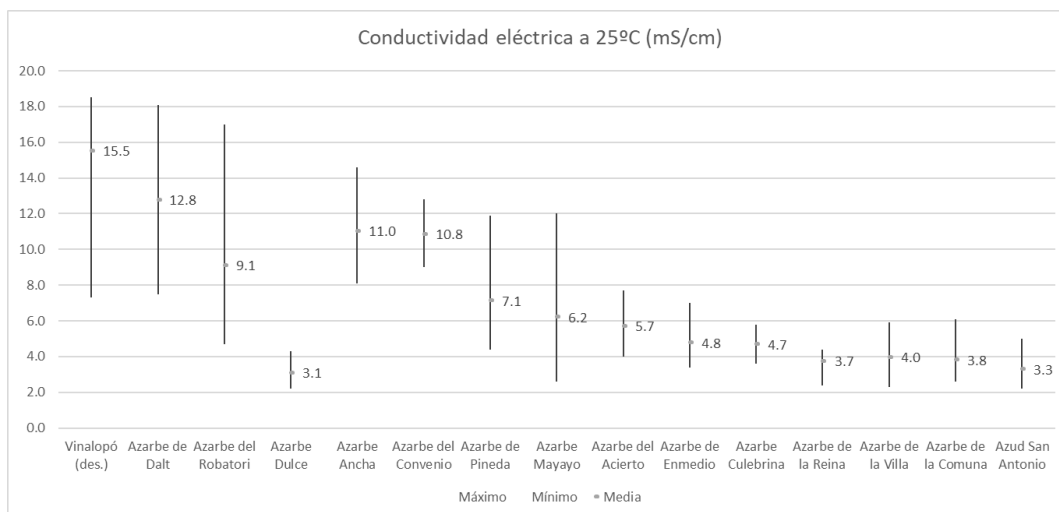


Figura 4. Valores de conductividad eléctrica.

Se aprecia que los cauces que están más próximos a la zona que ocupa el Hondo de Crevillente-Elche, tiene aguas más salinas, lo que debe asociarse en gran medida con la elevada salinidad de los suelos del entorno del Parque Natural de El Hondo (Meléndez *et al.*, 2010), que afectarán a las escorrentías y drenajes que recogen los azarbes, incluido el azarbe del Convenio (que vierte en la zona de la desembocadura del río Segura).

En el caso del río Vinalopó, su paso por entornos que contienen materiales triásicos con elevado contenido en sales, por ejemplo, en los términos municipales de Novelda y Aspe, las características salinas de estas aguas están claramente determinadas, agravándose con la recepción de drenajes agrícolas de suelos salinos. Estas aguas fluviales, en un río-rambla como es el río Vinalopó, siempre han condicionado su uso agrícola y son la causa del desarrollo de estrategias agrarias de adaptación en el entorno del Campo de Elche.

Para entender mejor la salinidad de las aguas, es aconsejable centrarnos en la presencia de sales solubles, aquellas que son más relevantes habitualmente por su relación con la salinidad del agua.

Comenzando por los aniones, tanto cloruros, como sulfatos y bicarbonatos, muestran concentraciones relevantes en todas las aguas analizadas. La presencia de estos aniones que condiciona la salinidad, destacando concretamente el caso de cloruro y sulfato.

Ambos, tanto **cloruro** como **sulfato**, muestran predominancia en la composición mineral de las aguas que confluyen en la desembocadura del río Vinalopó, con mayores concentraciones que aquellas que se encaminan a la desembocadura del río Segura, como se observa en las figuras 5 y 6.

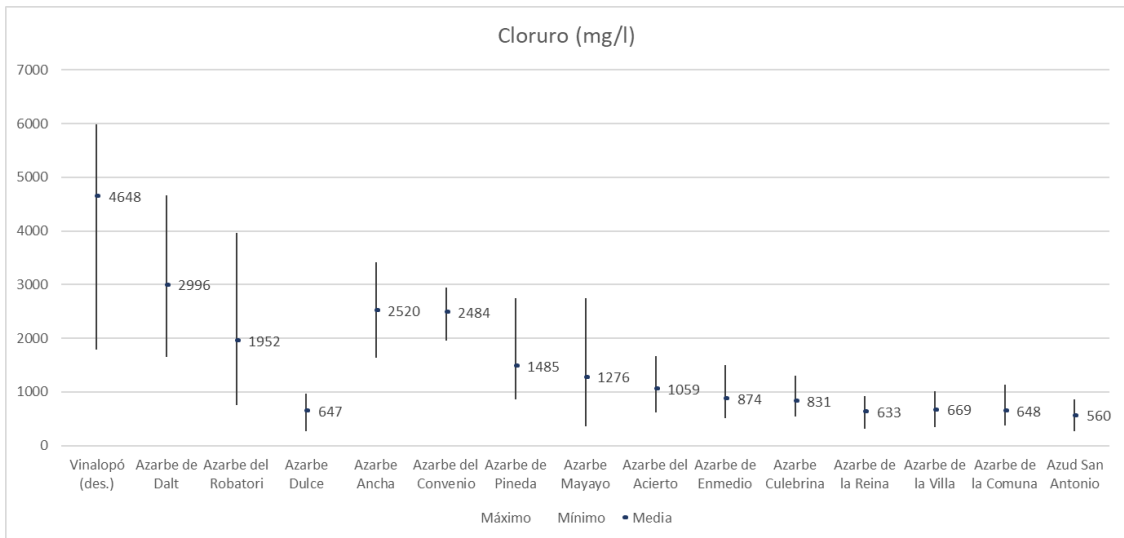


Figura 5. Valores de concentración de cloruro en las aguas.

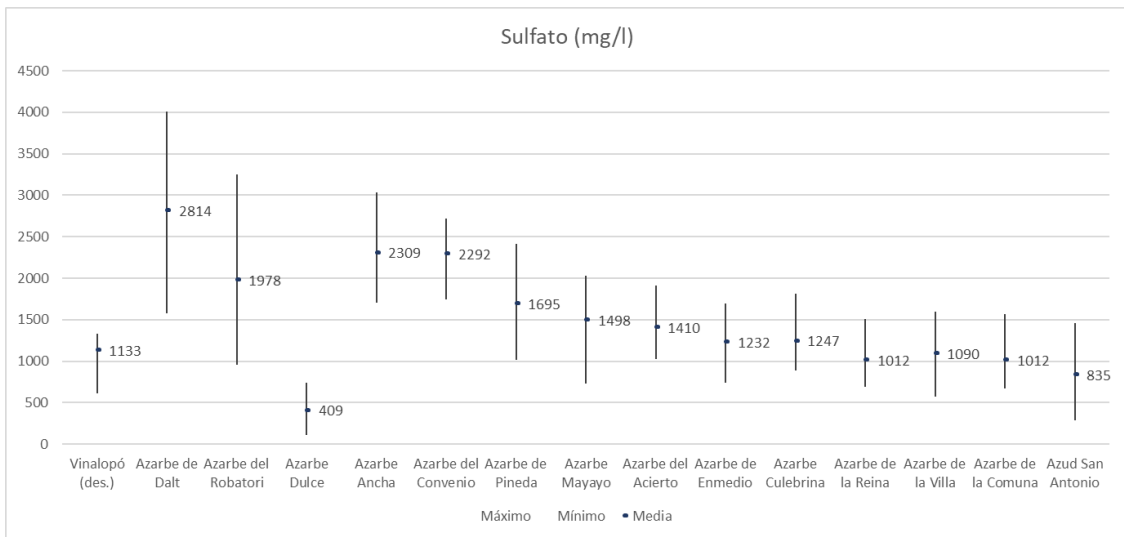


Figura 6. Valores de concentración de sulfato en las aguas.

En el caso de la presencia de **bicarbonato**, figura 7, no se aprecian diferencias importantes entre azarbes. Su concentración total se sitúa por debajo de la de cloruro y sulfato, en valores entre 350-500 mg/l.

Al contrario, por tanto, que los otros dos aniones anteriores, el bicarbonato no está asociado directamente con la presencia de sales solubles procedentes del riego y de los suelos salinos, llega a los drenajes agrícolas y finalmente a los azarbes.

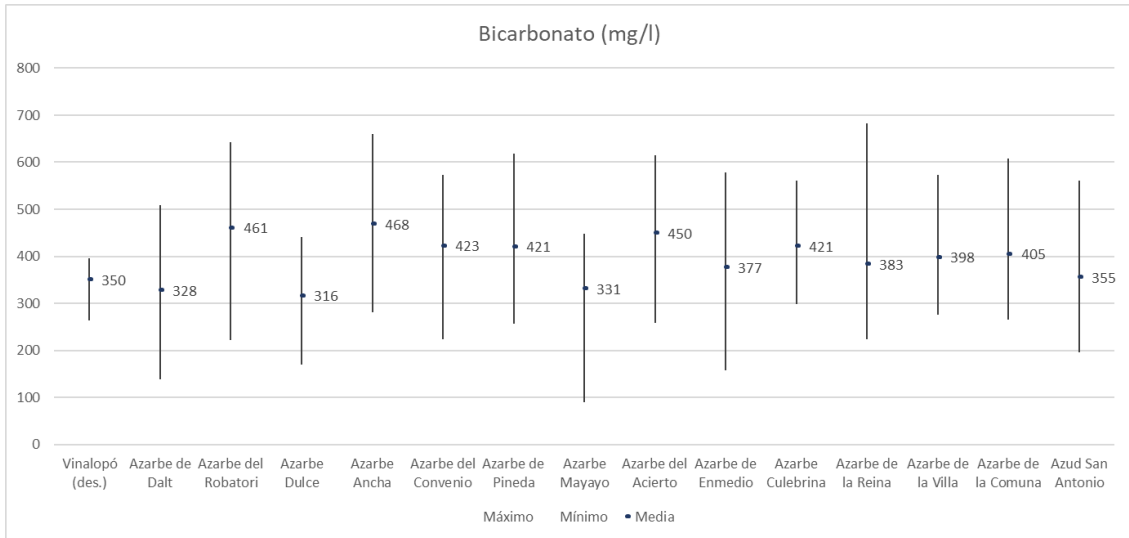


Figura 7. Valores de concentración de bicarbonato en las aguas.

Sin embargo, conviene destacar un hecho relevante en el conjunto de los azarbes que vierten al Segura, la salinidad elevada que presenta el Convenio. Se repite este mismo patrón, dado por la conductividad eléctrica, en el caso de la concentración de cloruro y sulfato en este azarbe. Sin dudas, este se azarbe se ve afectado por la salinidad de los suelos próximos al Hondo. Este espacio, no deja de ser una cuenca endorreica en la que a lo largo del tiempo las sales se han ido acumulando por evaporación en suelos y sedimentos, marcando el carácter salino del entorno.

Con relación a los cationes como **sodio**, **potasio**, **calcio** y **magnesio**, estos son los que determinan la química de las aguas del planeta. De todos ellos, dada la salinidad de las aguas y su relación con compuestos solubles asociado a cloruro y sulfato, el sodio se presenta como el predominante, seguido del calcio que, en este caso, además, se puede asociar a la naturaleza caliza de los suelos y materiales sedimentarios de la cuenca baja de los ríos Vinalopó y Segura.

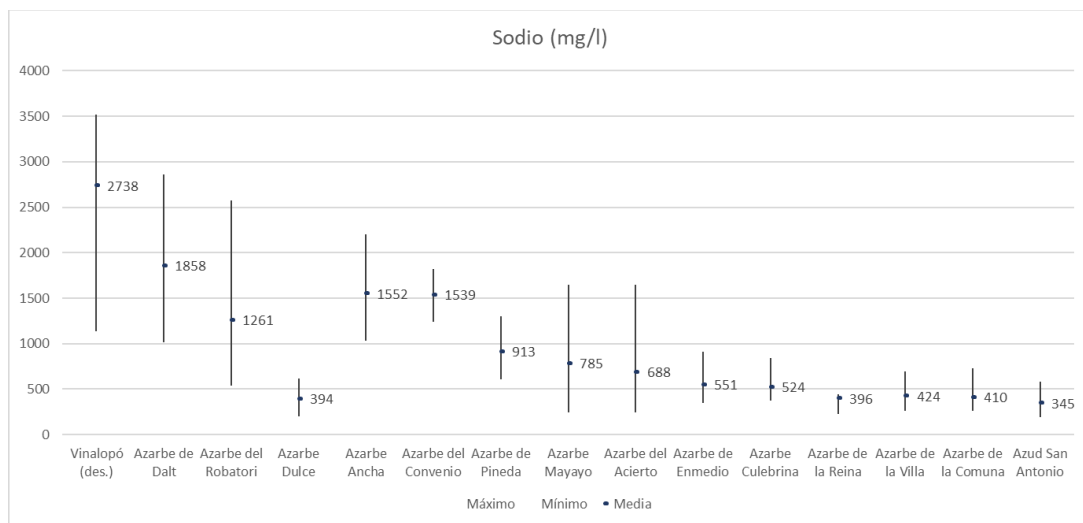


Figura 8. Valores de concentración de sodio en las aguas.

La concentración de sodio evoluciona de manera similar a la de cloruro y a los valores medidos de conductividad eléctrica. Destaca la concentración existente en las aguas del río Vinalopó, y los azarbes de Dalt, Ancha y el Convenio.

Menores valores presentan el resto de cationes, aunque los valores de calcio y magnesio son importantes como se ve en las figuras 10 y 11. Destaca la presencia de potasio (figura 9) en los azarbes de la vertiente del Vinalopó, dentro de que este catión es el de menor concentración de los cuatro determinados. Su mayor presencia en la vertiente del río Vinalopó puede ser debida a la salinidad de los suelos que afectan a las aguas de dichos azarbes o por su origen agrícola (uso de fertilizantes potásicos para contrarrestar el exceso de sodio en el suelo).

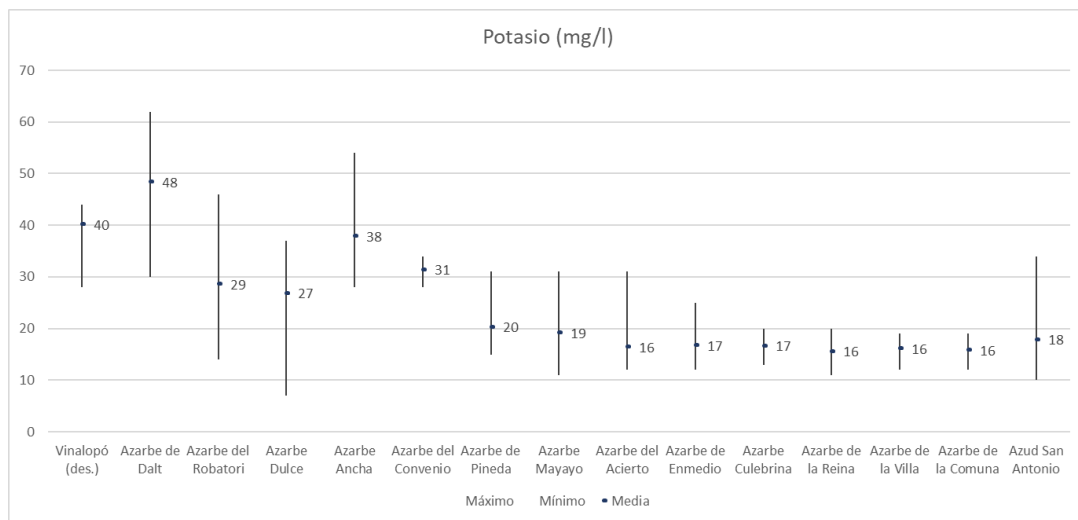


Figura 9. Valores de concentración de potasio en las aguas.

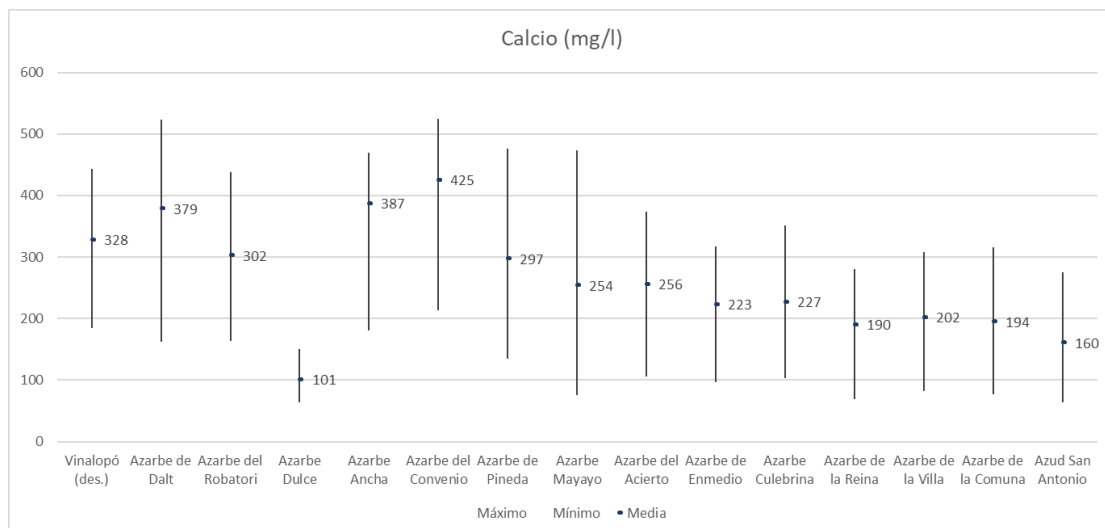


Figura 10. Valores de concentración de calcio en las aguas.

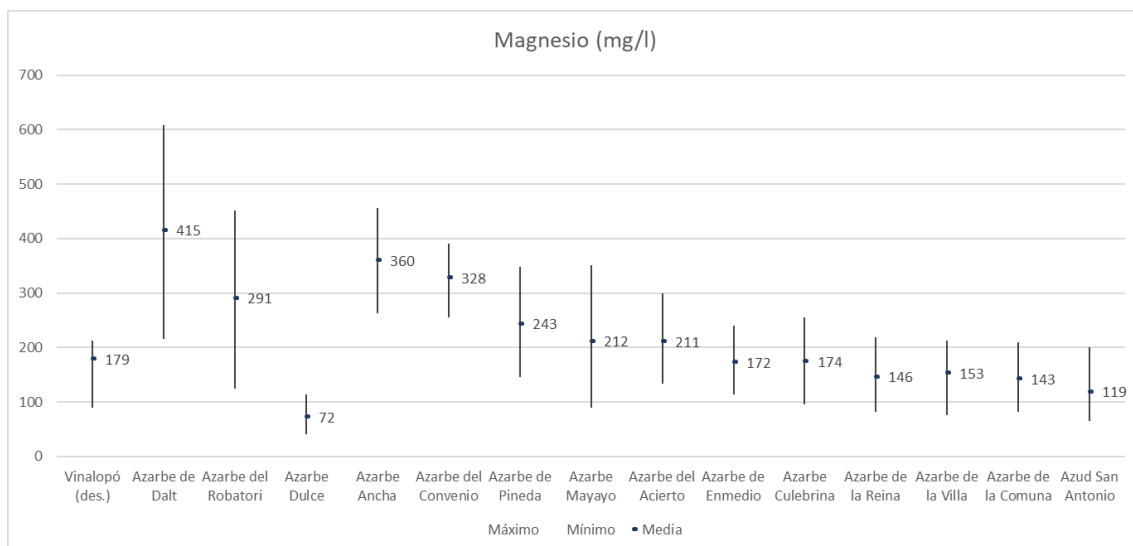


Figura 11. Valores de concentración de magnesio en las aguas.

Dada la salinidad de los suelos y la competencia entre el sodio y el potasio por los lugares de adsorción en los suelos, puede resultar más fácil el lavado de potasio en los suelos más salinos y, por tanto, su llegada a los azarbes de la zona del río Vinalopó.

En el caso del **oxígeno disuelto** (medido a temperatura ambiente), encontramos que los valores en todos los cauces son similares, siendo en el azarbe de Mayayo (vertiente del río Segura) el que el promedio a lo largo de dos ciclos hidrológicos completos es más alto. Podemos considerar que valores inferiores a 3 mg/l de oxígeno disuelto, puede causar graves daños ecológicos en las zonas costeras (EPA, 1990), por tanto, que los azarbes dispongan de valores ligeramente superiores es un factor positivo.

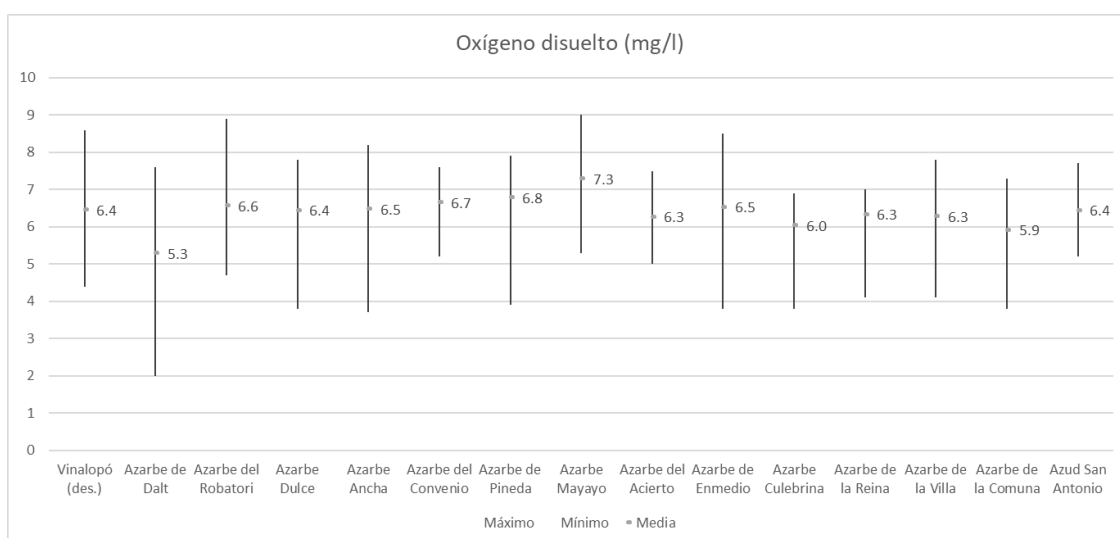


Figura 12. Valores de oxígeno disuelto en las aguas.

Para complementar estos datos relacionados con la calidad de las aguas, se muestran los valores obtenidos para los **sólidos en suspensión**. Las mayores variaciones en este parámetro se encontraron en los azarbes de Pineda, Mayayo y en el río Segura (figura 13).

En el primero de ellos, el azarbe de Pineda, tiene un cauce de tierra que presenta ciertas irregularidades a lo largo del mismo y en la zona de muestreo, lo que pudiera facilitar la presencia de sólidos en suspensión por rozamiento, pero también se ha comprobado en diversas ocasiones con motivo de las tomas de muestra, la posible presencia de sólidos en sus aguas de origen antrópico, mostrando una coloración diferente a los sedimentos habituales, cuyo origen pudieran ser lavados de explotaciones ganaderas u otros.

Con relación al azarbe de Mayayo, que es también el que mayor oxígeno disuelto como promedio presenta, se ha apreciado la existencia de fauna piscícola variada, aunque en los últimos muestreos predominaban las carpas (al igual que en el azarbe de Pineda). Estas pueden ocasionar con su movimiento la agitación de sedimentos y el incremento de sólidos en suspensión.

El río Segura, las posibles acciones antrópicas como otras de origen natural, pueden ocasionar variaciones en la presencia de sólidos en suspensión. Las posibilidades en un río de tales dimensiones son muchas y los arrastres tras las lluvias en su cuenca, por ejemplo, pueden explicar el transporte de sedimentos suspendidos y por ello la gran variabilidad en este parámetro.

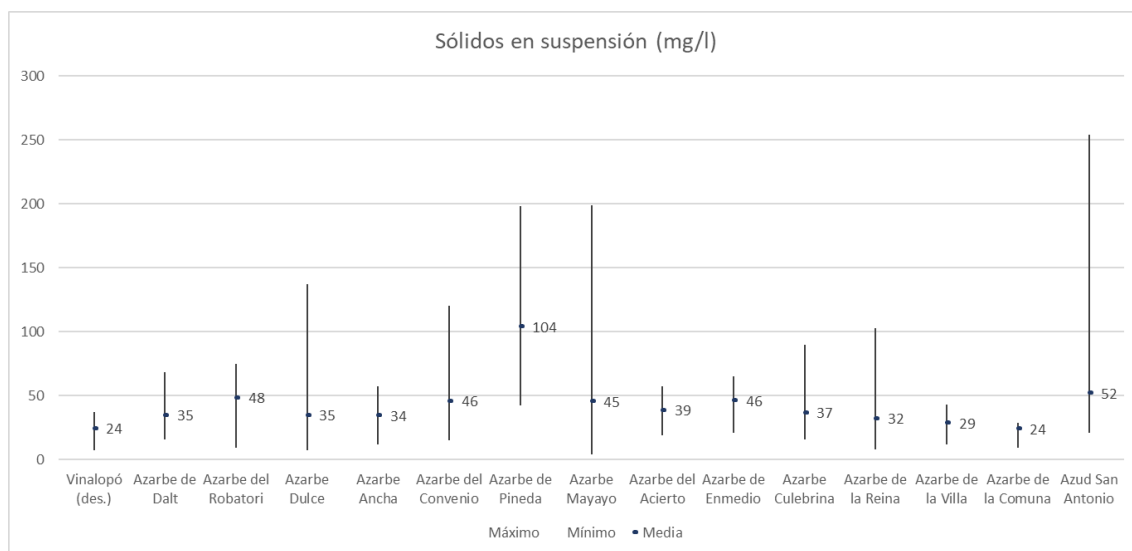


Figura 13. Valores de sólidos en suspensión en las aguas.

Para establecer una comparación de estos valores con aguas que se usan para riego y tener de este modo una cierta orientación sobre sus contenidos, podemos fijarnos en las aguas regeneradas (depuradas) que se emplean con fines agrícolas.

En el RD 1620/2007, los sólidos en suspensión expresados en mg/l, tienen unos límites establecidos para su uso de 20 mg/l para cultivos de tipo A (productos de consumo humano fresco) y de 35 mg/l para cultivos de tipo B (para consumo humano no fresco, consumo de animales productores y acuicultura). Prácticamente, todos los valores medios de este parámetro

superan los 20 mg/l. Por tanto, este sería uno de los parámetros a considerar para el uso y tratamiento de estas aguas.

Aunque estas aguas no proceden de depuración de aguas residuales y por tanto no es de aplicación el decreto anterior, sí existen algunas depuradoras que vierten caudales a estos azarbes, generando aguas mixtas (drenaje y vertidos). La situación geográfica de estas EDAR las podemos contemplar en la figura 14. Por tanto, se debe prestar cierta atención a estos valores de sólidos en suspensión para buscar el posible origen.

Las depuradoras que se sitúan en el entorno de estos azarbes, afectan principalmente a los azarbes de Dalt, Ancha y el Convenio, que no destacan precisamente por valores altos de sólidos en suspensión en comparación con el resto de cauces estudiados. En el caso del río Segura y del Vinalopó, se sitúan numerosas depuradoras a lo largo de sus cuencas, que no se reseñan en la figura 14 y que pueden o no influir en los valores medidos (pueden ser causantes de la gran variabilidad apreciada en el río Segura, azud de San Antonio). En líneas generales, no parecen influir las depuradoras en este parámetro medido en los azarbes.

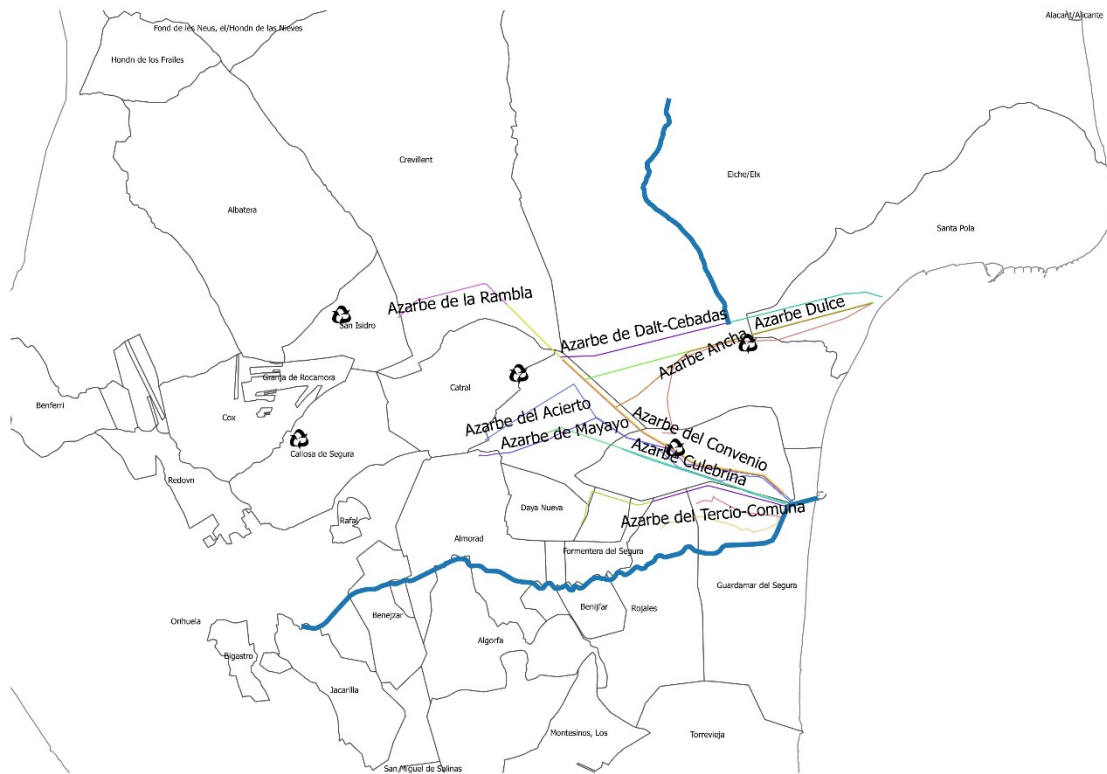


Figura 14. Depuradoras situadas en el ámbito de estudio.

2.2. Nutrientes de origen agrícola (N y P).

Una segunda actuación correspondiente al convenio de 2018, se centró en determinar contaminantes de origen agrícola, concretamente nitrógeno y fósforo en las aguas de estos azarbes.

Nos centramos primero en las **especies nitrogenadas**. La presencia de nitrógeno, especialmente de **nitratos** en las aguas, es uno de los factores más importantes en cuanto al aporte de nutrientes y sus efectos en las aguas costeras. Es conocido el fenómeno de la eutrofización de las aguas debida a un exceso de nutrientes y posterior explosión biológica con alta demanda de oxígeno, que finalmente puede derivar en anoxia.

Sin embargo, conviene destacar que los valores medios de nitratos obtenidos para estos azarbes no superan los 50 mg/l, por debajo de los límites máximos permitidos en aguas de consumo (RD 140/2003). De todas formas, puntualmente superan estos valores algunos de los azarbes, especialmente los que confluyen en el río Segura. Los usos agrícolas intensivos en esta cuenca pueden ser los causantes de la mayor presencia de este compuesto nitrogenado.

En líneas generales, se puede indicar en cuanto a la calidad de las aguas, que la concentración de nitratos es superior en los azarbes del ámbito del río Segura que en los correspondientes al río Vinalopó y, por tanto, las descargas de este nutriente en las zonas costeras pueden ser más importantes en Guardamar del Segura que en Santa Pola.

Ciñéndonos estrictamente a criterios de calidad de agua para riego dados por la FAO (Ayers y Westcot, 1985), el valor del contenido en nitratos de los azarbes del Segura se aproxima al valor establecido por estos autores para aguas con grado de restricción en el uso para riego “ligero o moderado” (comprendido entre 5 y 30 mg/l expresado como N, contenido en forma de nitrato).

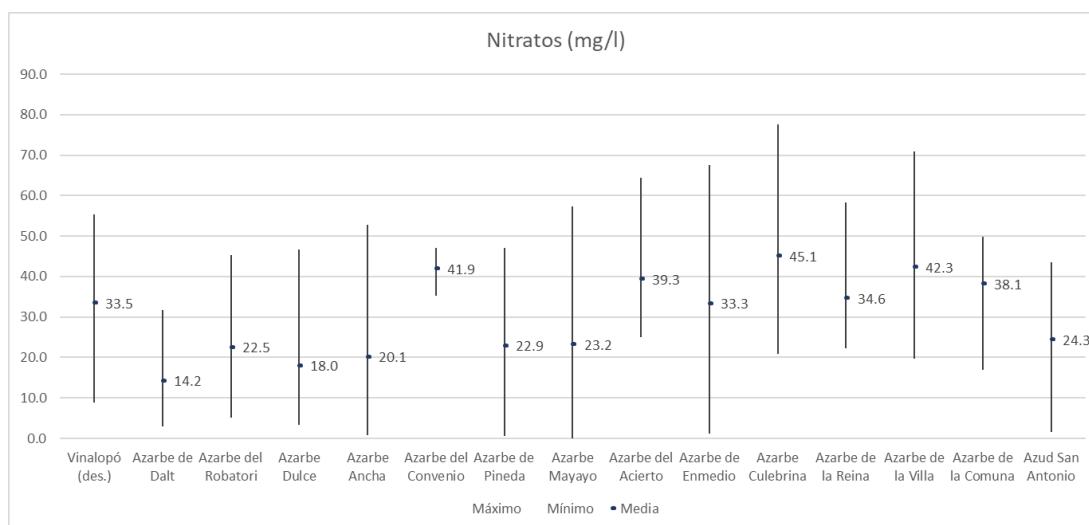


Figura 15. Valores de nitrato en las aguas.

Si prestamos atención a las **formas nitrogenadas amónicas y nitritos**, apreciamos que se presenta una concentración importante en el río Vinalopó, con valores superiores a los recogidos para aguas de consumo, que obviamente no es en este caso el uso previsto.

La presencia de nitrógeno en forma de **nitritos** es más inestable que las otras dos formas inorgánicas estudiadas, pero tiene reconocidos efectos tóxicos, especialmente en mamíferos donde se puede producir metahemoglobinemia (asociada a la presencia de metahemoglobina que dificulta el transporte de oxígeno), y al igual que en el caso del nitrato, puede ser precursor de sustancias cancerígenas como las nitrosaminas (Junta de Andalucía, 2017). Sin embargo, las

concentraciones existentes tanto de nitrato como de nitrito no son excesivamente elevadas en los azarbes. Posteriormente, se tratará el tema de si esta concentración, confluyendo en dos puntos concretos de la costa, puede tener repercusiones por su acumulación.

En el caso del **amonio**, la presencia en aguas marinas puede provocar efectos tóxicos en larvas marinas, más que estimular el crecimiento algal (asociado al nitrato). La presencia de amonio en concentraciones de 10 μM (aproximadamente 0,2 mg/l), puede ser tóxica para las larvas marinas, especialmente para los moluscos (EPA, 2001). Por estas razones comentadas, debemos entender el potencial efecto negativo de los nutrientes en las costas.

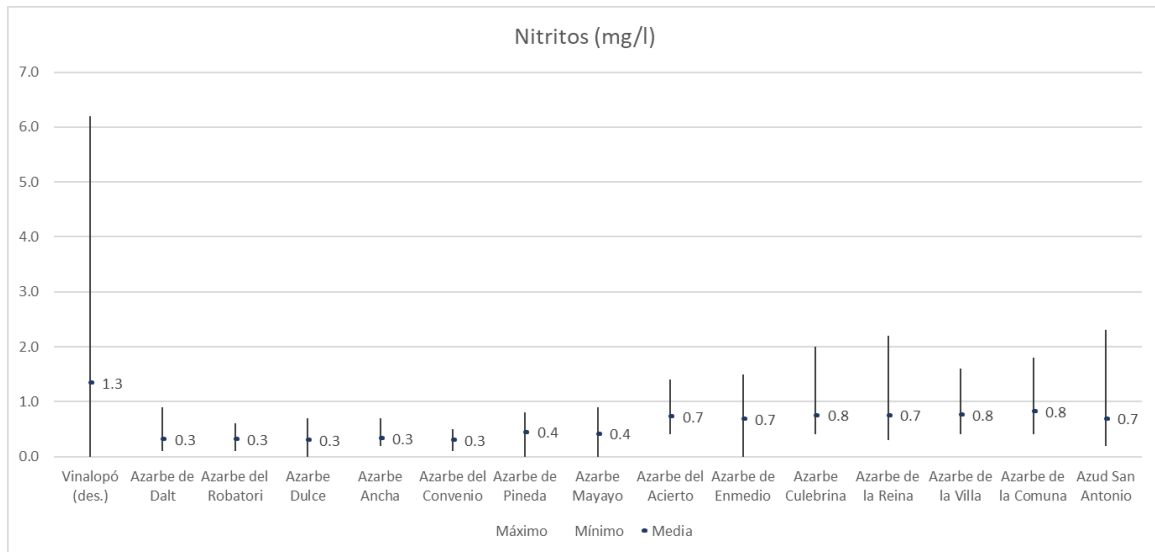


Figura 16. Valores de nitrito en las aguas.

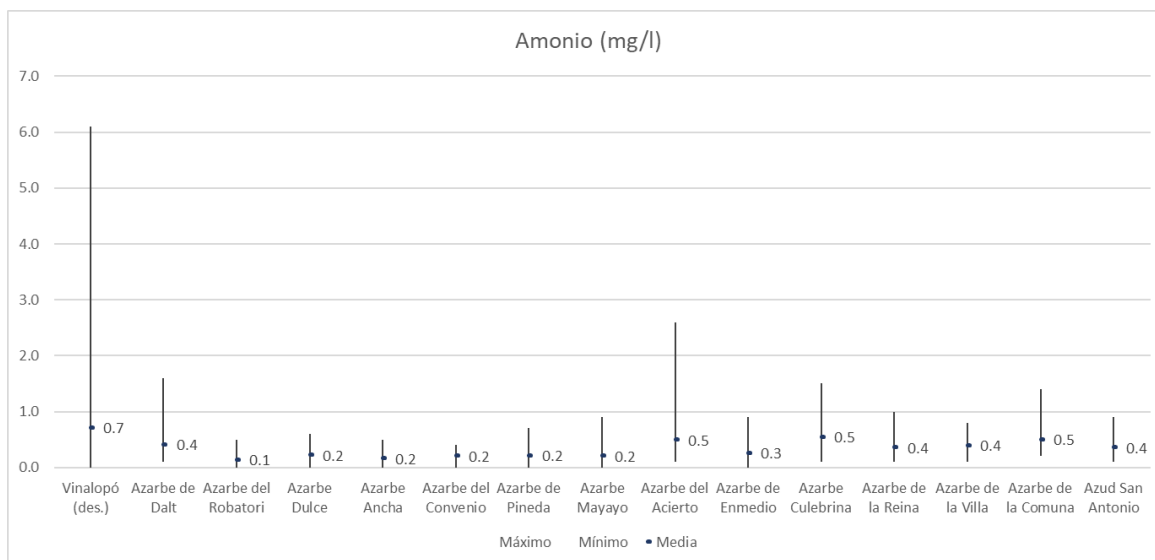


Figura 17. Valores de amonio en las aguas.

La mayor variabilidad en este caso se observa en el río Vinalopó, con máximo superior a 6 mg/l detectado en uno de los muestreos, aunque su media no dista excesivamente del resto de cauces.

En el caso del **fósforo** soluble presente en las aguas, medido como ortofosfato por ser una forma muy requerida de este nutriente, podemos considerar que la situación es similar a la del caso del nitrógeno en forma de nitrato. Está muy asociado a la intensidad de la actividad agrícola.

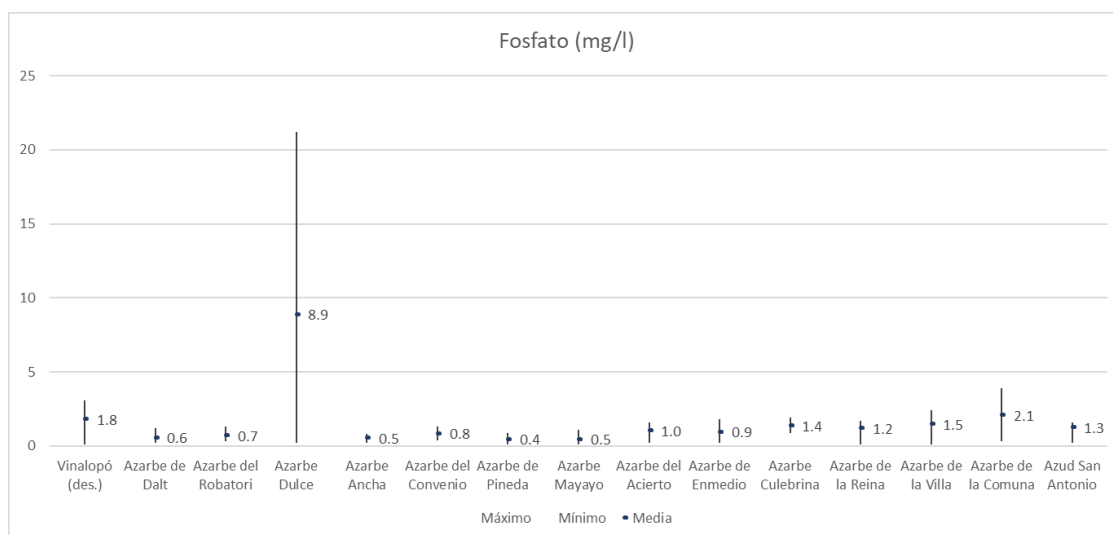


Figura 18. Valores de fosfato en las aguas.

El fósforo es otro de los nutrientes que ejercen un control muy relevante en la biología de las aguas. Al igual que el nitrógeno, puede desencadenar explosiones biológicas indeseables que deriven en procesos de anoxia con riesgo para la fauna piscícola.

En este caso, se realizaron las mediciones de ortofosfato soluble presente en las aguas, es decir, la especie química más directamente asimilable, la principal especie que se incorpora a las aguas marinas (Kennish, 1989) y la que puede ocasionar un mayor riesgo para el medio acuático de forma inmediata.

En general, la presencia es mayor en los azarbes que vierten hacia el río Segura. Sin embargo, la mayor variabilidad y concentración se localizó en el azarbe Dulce. Estas elevadas concentraciones de fosfatos en este azarbe de escaso caudal, solamente pueden ser explicadas por la entrada en sus aguas de sustancias que sean ricas en fosfato, bien fertilizantes u otros productos (alimentación animal, detergentes, etc...) que pueden contenerlo en su formulación. No se determinó con claridad el origen del fosfato en dicho azarbe.

2.3. Estimación de los caudales y carga contaminante (N y P).

Para estimar los **aportes anuales** de los compuestos analizados en este trabajo de investigación, se hace necesario determinar en primer lugar el caudal de los azarbes y los tramos finales del río Vinalopó y del Segura en el azud de San Antonio. En este último caso, conviene indicar que la medición de calidad y caudal en el entorno del azud persigue el objetivo de conocer la calidad

de las aguas que, desde este punto, pueden ser elevadas a los embalses de El Hondo, embalses de riego y elementos claves en el sistema de humedales y ecosistemas húmedos de la Comunidad Valenciana, declarados Parque Natural de altísimo valor protegido por la legislación valenciana, así como presente por ello en la Red Natura 2000.

El **caudal** de los azarbes, como el de los ríos mediterráneos costeros, es variable a lo largo del año. Las variaciones son debidas a diversos factores como los climáticos (precipitación), pero en el caso de los azarbes, la actuación antrópica es crítica (aportes, extracciones, control de compuertas) y la asociación con el riego básica para determinar sus caudales.

Incluso, en época estival, el cierre de las compuertas de los azarbes para retener agua en su interior y usarla para riego, es una práctica habitual. La escasez de agua para riego y el cierre de compuertas para reutilizar la que queda retenida, es practicada especialmente en los azarbes asociados a la desembocadura del río Segura.

En verano de 2018, la Comuna y la Villa, así como Enmedio, presentaban sus compuertas cerradas para retener el agua para riego. A pesar de la existencia de estas compuertas, no se podía evitar la salida de las aguas por completo (aliviaderos), aunque esta era realmente escasa en los azarbes mencionados. Estos cierres de compuertas en el estiaje, buscan retener recursos muy necesarios que se reutilizan para el riego.

La medición de caudal nos ha exigido la detección de zonas de paso de aguas con unas de geometrías definidas en los azarbes, que han sido localizadas junto a los lugares de muestreo habituales. De esa forma, hemos podido determinar secciones y velocidades para los calculos. En el caso de los ríos, se ha recurrido a los valores de datos aportados por las confederaciones hidrográficas, tanto la CHS como la CHJ, tomando los valores medios estimados por ambas que, desde nuestro punto de vista, creemos que están por ligeramente por encima de lo observado en estos últimos años en los puntos de muestreo.

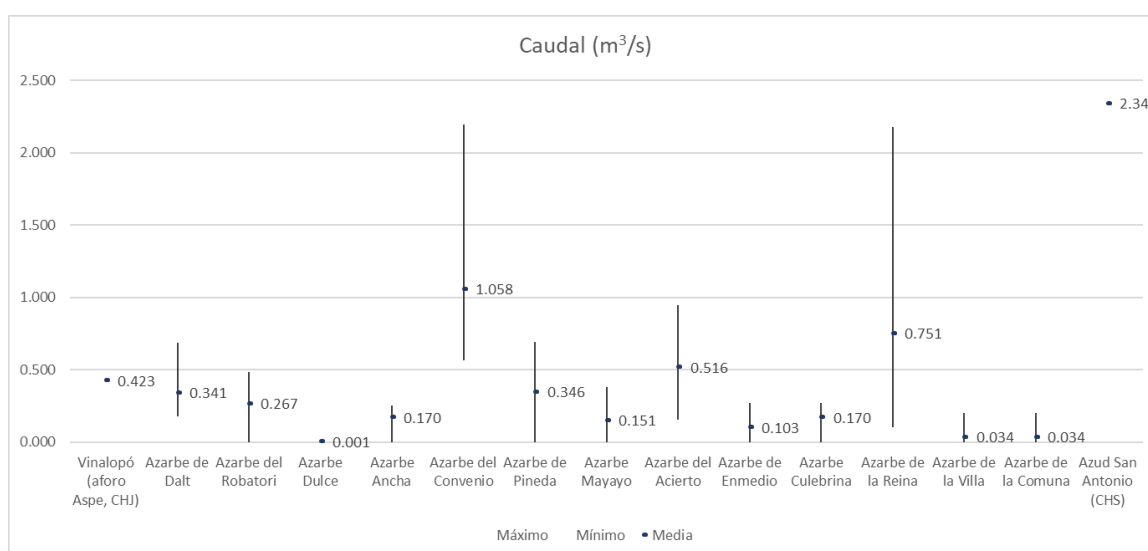


Figura 19. Valores medios, máximos y mínimos de caudal en los cauces (exceptuando los ríos que muestran solamente los valores medios).

La determinación del caudal ha sido compleja y laboriosa, con repetidas visitas y mediciones que no han sido homogéneas para todos los cauces, situándose entre 6 y 14 los valores utilizados. En aquellos que presentaban cierres de compuertas, u ocasionalmente discurría muy escaso caudal, los valores mínimos se consideran nulos. En general, solamente hay cuatro azarbes que han mostrado unos caudales relevantes y sostenidos a lo largo del tiempo que son Dalt, Convenio, Acierto y La Reina. Destaca especialmente el caso del azarbe del Convenio. Estos azarbes, especialmente los dos primeros, están también influenciados por la presencia de aguas procedentes de la depuración de aguas residuales, lo que debe garantizar la presencia de caudal.

A partir de los valores medios de caudal y de los valores medios de concentración de especies nitrogenadas y fosfatos en las aguas, procedemos a realizar la estimación de la cantidad descargada anualmente en los dos puntos costeros de referencia, tanto en el río Vinalopó como en el Segura.

La descarga anual de **especies nitrogenadas** (figura 20) depende de dos factores, el primero es la concentración en el agua, que en líneas generales es mayor en los azarbes asociados al río Segura. No obstante, el otro factor, la cantidad de agua que transportan, se convierte en definitivo puesto que los azarbes del Convenio, Acierto, La reina y el río Segura, que presentan el promedio de caudal mayor, son los que aportan en total mayor cantidad de especies nitrogenadas en las costas. Es decir, que las especies nitrogenadas se convierten en el elemento significativo en la zona costera de Guardamar del Segura en cuanto al total que se aporta anualmente.

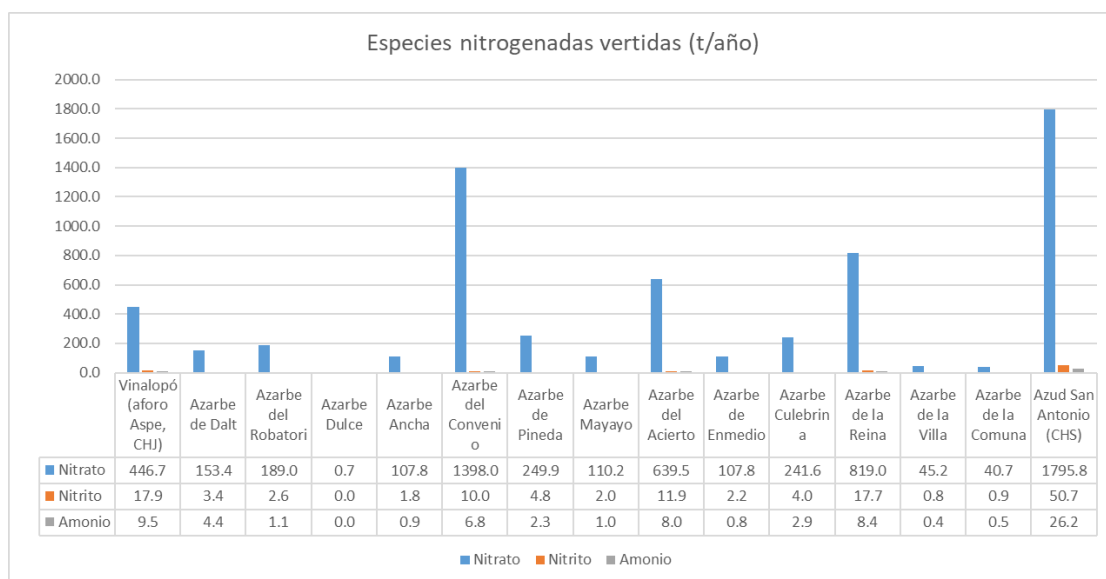


Figura 20. Descargas anuales estimadas para las especies nitrogenadas.

Los aportes anuales del azarbe del Convenio y del río Segura, superan con toda probabilidad las 1000 toneladas anuales. En líneas generales, los vertidos en la zona costera de Santa Pola, en total, se pueden estimar situados entre 800-900 toneladas anuales de nitratos, mientras que en la desembocadura del río Segura, estas pueden estar por encima de las 5000 toneladas de nitrato al año. El resto de especies nitrogenadas contribuyen en cuanto a la cantidad aportada,

en mucha menor medida. No obstante, es conveniente su seguimiento por los efectos que pueden ocasionar a baja concentración.

De todos los compuestos nitrogenados, el nitrato tanto por su relación con la fertilización agrícola como por su solubilidad, se presenta con mayor frecuencia en los suelos y es fácilmente lavable. En este sentido, la gran cuenca del río Segura y la actividad agrícola que se desarrolla, debe influir en la calidad de las aguas y los aportes en la desembocadura de Guardamar del Segura. Son menores en este sentido los riesgos en los vertidos nitrogenados en Santa Pola.

Sin embargo, al igual que para el caso de los fosfatos, los vertidos puntuales pueden tener una gran influencia en un radio muy cercano al punto de vertido, antes de diluirse su concentración por la acción de las corrientes y el oleaje en el mar Mediterráneo.

Si consideramos los **fosfatos** solubles en las aguas, se vierten en mucha menor cantidad que las especies nitrogenadas. Se aprecia que estas tienen valores considerablemente menores. Se aprecia (figura 21), un comportamiento similar al caso de los nitratos, con una afección mucho mayor en la zona de Guardamar del Segura, destacando de nuevo el azarbe del Convenio y el río Segura.

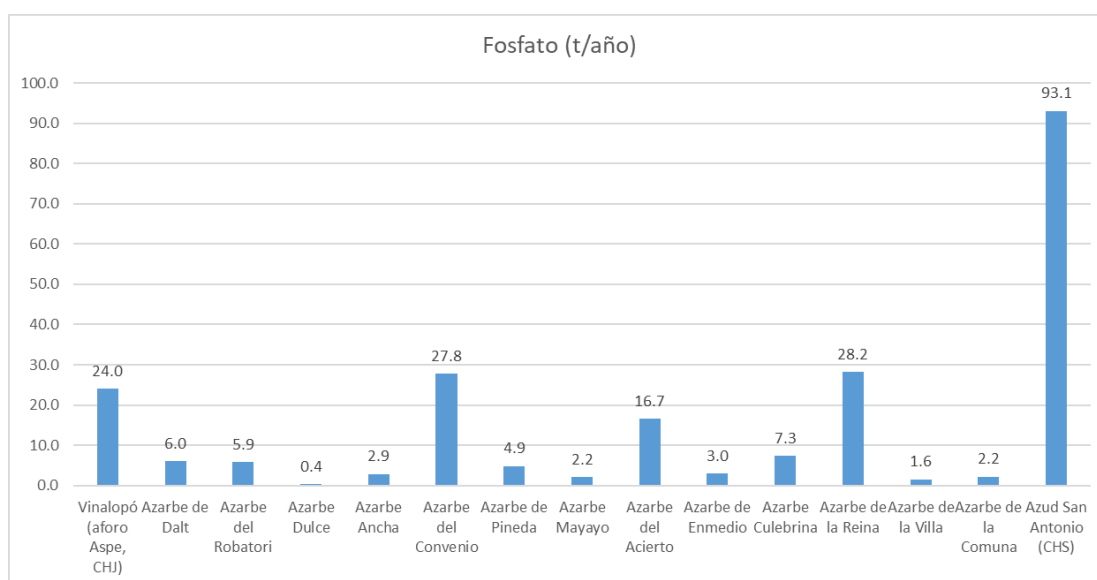


Figura 21. Descargas anuales estimadas para fosfato soluble.

Sin embargo, los efectos de los fosfatos en las aguas son importantes a bajas concentraciones. La llegada de fosfatos a las costas y estuarios puede generar un problema que es bien conocido desde hace años y que se ha reportado en numerosos informes y publicaciones. Smith y Longmore (1980) ya indicaron que los aportes de fosfatos proceden de los suelos (actividades agrícolas, la remoción del suelo, arado y volteo) y la descarga de aguas residuales. Además, apuntan que la llegada de este compuesto a los estuarios (aguas de transición) y aguas costeras podía incrementar el crecimiento del fitoplancton y las macroalgas, con efectos negativos en la pesca, las infraestructuras y las playas. Estos autores indicaron que el fosfato permanece en disolución en un amplio rango de salinidad del agua y lo asocian a la presencia de materia particulada en suspensión. Este es el caso que se da en estos azarbes, que transportan

importantes cantidades de sólidos en suspensión a la vez que niveles que se pueden considerar razonablemente altos de fosfatos. En la guía de calidad de aguas costeras de EPA (EPA, 2001), se indica que las partículas en suspensión pueden retener fosfato y tóxicos. Los sólidos en suspensión podrían potenciar el efecto de los fosfatos.

La agencia norteamericana para la protección del medio ambiente (EPA) avisa en su informe "Coastal Trophic" que la presencia de nutrientes en las aguas costeras es crítica, especialmente si se trata de nitrógeno y fósforo, que influyen en el crecimiento de algas, disminuyen la transparencia de las aguas, reduce los niveles de oxígeno disuelto y pueden perjudicar a los peces y al resto de especies acuáticas. En nuestro caso concreto, las praderas costeras de posidonia oceánica podrían verse afectadas por esta situación con relación a la pérdida de transparencia de las aguas y sus efectos sobre la actividad fotosintética.

Conviene recordar que nitrógeno y fósforo, aparecen como sustancias contaminantes en el anexo III del R.D. 60/2011 de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.

3. CONCLUSIONES.

Una vez analizados los datos correspondientes al convenio de investigación aplicada a la calidad de las aguas para el año 2018, dónde se han valorado tres grandes aspectos: la calidad de las aguas de quince cauces en su proximidad a la desembocadura al mar Mediterráneo, la presencia de nutrientes (N y P) y la cantidad previsible de descarga de compuestos en los dos puntos costeros de vertidos: Santa Pola y Guardamar del Segura, se puede indicar que parece existir una causa-efecto entre usos del suelo, agropecuarios principalmente, y presencia de determinados compuestos nitrogenados y fosforados en las aguas, sin descartar aportes de origen urbano.

- a. En relación con la **calidad de las aguas**, se pueden sacar dos conclusiones importantes. La primera está relacionada con la salinidad, que es mucho mayor en los cauces que vierten sus aguas en la gola de Santa Pola, exceptuando el azarbe Dulce.
- b. Por otro lado, la **presencia de nutrientes (N y P)** es en general mayor en los azarbes del sur, que afectan a la desembocadura del río Segura, frente a los de la vertiente del Vinalopó. Curiosamente, el azarbe Dulce presenta valores de P altos en comparación con el resto, pero su caudal es escaso y en conjunto la descarga de este nutriente será poco significativa. En cualquier caso, los valores medios obtenidos muestran una calidad deficiente de las aguas si atendemos al Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.

- c. Mucho más complejo es establecer la **descarga total** de nitrógeno y fósforo en las aguas costeras, especialmente por la irregularidad del caudal de los distintos azarbes, siendo difícil establecer con rigor el caudal medio anual.

En este trabajo se han usado valores estimados medios de caudales que nos permiten formular una idea de lo que está sucediendo en los puntos costeros con relación a la descarga de nutrientes.

Las descargas totales de sales y nutrientes están muy asociadas al caudal total, además de a la calidad de las aguas. El mayor número de azarbes en la parte del río Segura y el mayor caudal, deriva en que las **descargas totales** de nutrientes sean mayores en Guardamar del Segura que en Santa Pola, por encima de cinco veces superior. Es importante incidir en la importancia del azarbe del Convenio, de su caudal habitualmente relevante y de la cantidad de sus aportes.

Los usos del suelo en la zona de afección de los azarbes, conforman un mosaico de actividades diversas, entre las que sigue destacando la agricultura por espacio ocupado y por cantidad de recurso hídrico utilizado. La agricultura condiciona los contenidos de nutrientes de los cauces que hemos asociado al río Segura.

Por lo que respecta a la salinidad, en trabajos anteriores, este grupo de investigación ha demostrado (Juan et al., 2011; Bas et al., 2017) la orla de suelos salinos que rodean las masas de agua, especialmente las de El Hondo y que afectan a la zona de Carrizales, entre estos embalses y la Sierra del Molar. Estos suelos salinos condicionan los tipos de cultivos y, además, es la zona donde aparecen parcelas sin cultivar que con mayor rapidez se transforman en saladares, naturalizándose rápidamente. Por ello la salinidad aparece de forma relevante como problema en las aguas asociadas al río Vinalopó y el azarbe del Convenio.

Finalmente, a modo de sugerencias y recordando el informe anterior, parece posible la reutilización de las aguas de cauces que proporcionan caudales todo el año, así como su tratamiento previo que facilite su uso.

4. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.

- Agencia para Sustancias Tóxicas y registro de Enfermedades.
https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts35.html
- Aguilella Forner R.M. (2002). Control y valoración de la contaminación producida por compuestos nitrogenados en las aguas que abastecen al Parque Natural de “El Hondo”. Practicum de Ciencias Ambientales. Director: J. Navarro Pedreño.
- APHA, AWWA, WEF (2012). Standard Methods for the examination of water and wastewater. Ed. American Public Health Association, Wasington.
- Avigliano L., Alvarez N., Loughlin C.M., Rodríguez E.M. (2014). Effects of glyphosate on egg incubation, larvae hatching, and ovarian rematuration in the estuarine crab, *Neohelice granulata*. *Environ Toxicol Chem* 33(8):1879-84.
- Ayers R.S., Westcot D.W. (1985). Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper nº 29.
- Bas Niñerola V., Navarro-Pedreño J., Gómez Lucas I., Meléndez Pastor I., Jordán Vidal M.M. (2017) Geostatistical assessment of soil salinity and cropping systems used as soil phytoremediation strategy. *J Geochemi Explo* 174:53–58.
- Blázquez A.M. (2003). L'Albufera d'Elx: evolución cuaternaria y reconstrucción paleoambiental a partir del estudio de los foraminíferos fósiles. Tesis Doctoral. Universitat de Valencia.
- Box Amorós M. (2004). Humedales y áreas lacustres de la provincia de Alicante. Segunda edición. Publicaciones de la Universidad de Alicante. Alicante. España
- Bru Ronda C. (1993). La sobreexplotación de acuíferos y los planes de ordenación hidráulica en la cuenca del río Vinalopó. Alicante. *Investigaciones Geográficas* 11:93-107.
- Confederación Hidrográfica del Júcar. <http://www.chj.es/>.
- Confederación Hidrográfica del Segura. <https://www.chsegura.es/>.
- Cuhra M. (2015). Glyphosate nontoxicity: the genesis of a scientific fact. *J Biol Phy Chem* 15:89-96.
- EPA (2001). Nutrient Criteria Technical Guidance Manual Estuarine and Coastal Marine Waters. EPA-822-B-01-003.
- EPA (2017). Coastal trophic. https://cfpub.epa.gov/roe/indicator_pdf.cfm?i=43
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency) (1990). Long Island Sound Study, Status Report and Interim Actions for Hypoxia Management. New York: U.S. Environmental Protection Agency.

- European Environment Agency (2017). Diffusive sources. <https://www.eea.europa.eu/themes/water/water-pollution/diffuse-sources>
- Juan P., Mateu J., Jordán M.M., Mataix-Solera J., Meléndez-Pastor I., Navarro-Pedreño J. (2011). Geostatistical methods to identify and map spatial variations of soil salinity. *J Geochem Explo* 108:62–72.
- Junta de Andalucía (2017). Efectos de los nitratos en la salud. http://www.juntadeandalucia.es/salud/export/sites/csalud/galerias/documentos/c_3_c_2_medio_ambiente_y_salud/aguas_consumo_publico/contaminacion_nitratos5.pdf
- Kennish M.J. (1989). *Practical Handbook of Marine Science*. CRC Press.
- Lozano Sánchez P. (2008). Calidad de las aguas de los cauces situados al sur del Parque Natural de “El Hondo”. *Practicum de Ciencias Ambientales*. Director: J. Navarro Pedreño.
- Martínez J.L., de la Fuente M.M., Muñoz E. (1999). El boro en los vertidos industriales. *Ingeniería Química* 9:163-169.
- Meléndez I., Navarro-Pedreño J., Koch M., Gómez I. (2010). Applying imaging spectroscopy techniques to map saline soils with ASTER images. *Geoderma* 158: 55-65.
- Moreno N.C., Sofia S.H., Martínez C.B. (2014). Genotoxic effects of the herbicide Roundup Transorb and its active ingredient glyphosate on the fish *Prochilodus lineatus*. *Environ Toxicol Pharmacol* 37(1):448-54.
- O’Connell P.J., Christian S., Harms T., Allen J.R.F. (1998). Metolachlor, S-metolachlor and their within sustainable weed-management role. *Crop Protection* 17(3):207-212.
- Organización Mundial de la Salud OMS (2016). Métodos básicos de lucha antivectorial. http://www.who.int/malaria/areas/vector_control/core_methods/es/
- Paganelli A., Gnazzo V., Acosta H., López S.L., Carrasco A.E. (2010). Glyphosate-based herbicides produce teratogenic effects on vertebrates by impairing retinoic acid signalling. *Chem Res Toxicol* 23(10):1586-95.
- PAN Europe (2017). Summary on the toxicity of Glyphosate. <http://www.pan-europe.info/sites/pan-europe.info/files/public/resources/press-releases/Summary%20on%20glyphosate%20toxicity.pdf>
- Pérez G.L., Torremorell A., Mugni H., Rodríguez P., Solange Vera M., do Nascimento M., Allende L., Bustingorry J., Escaray R., Ferraro M., Izaguirre I., Pizarro H., Bonetto C., Morris D.P., Zagarese H. (2007). Effects of the herbicide Roundup on freshwater microbial communities: a mesocosm study. *Ecol Appl* 17(8):2310-22.
- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

Real Decreto 314/2016, de 29 de julio, por el que se modifican el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, el Real Decreto 1798/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial envasadas para consumo humano, y el Real Decreto 1799/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula el proceso de elaboración y comercialización de aguas preparadas envasadas para el consumo humano.

Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.

Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.

Smith J.D., Longmore A.R. (1980). Behaviour of phosphate in estuarine water. *Nature* 287:532–534

Torrijos Alcón. P. (2015). Calidad de las aguas del curso fluvial del río Vinalopó: Salinidad. TFG de Ciencias Ambientales. Director: J. Navarro Pedreño.

NOTA TÉCNICA

El estudio ha tenido una parte preparativa previa para geolocalizar y determinar los lugares más idóneos de muestreo que permitieran obtener las características de las aguas de cada azarbe y río sin influencia marina.

Por otro lado, muchos de los parámetros analizados exigían un análisis inmediato para evitar que el paso del tiempo cambiara su concentración. En este sentido se han tenido que duplicar esfuerzos analíticos y de material para poder realizar los análisis y sus correspondientes repeticiones que condujeran a resultados fiables.

Los métodos analíticos seguidos están conformes con los estándares internacionales, basados fundamentalmente en la metodología de la APHA, AWWA y WEF.